



ISSN:1306-3111

e-Journal of New World Sciences Academy
2011, Volume: 6, Number: 4, Article Number: 1A0249

ENGINEERING SCIENCES

Received: May 2011
Accepted: October 2011
Series : 1A
ISSN : 1308-7231
© 2010 www.newwsa.com

Mustafa Yıldız
Rıfat Sezer
Osman Ekinci
Emine Yıldız
Selcuk University
musyildiz@selcuk.edu.tr
rsezer@selcuk.edu.tr
Konya-Turkey

**MEVLANA MÜZESİNDE OLUŞAN HASAR NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI VE UYGUN
TEMEL GÜÇLENDİRME SİSTEMİNİN SEÇİLMESİ**

ÖZET

Bu çalışmada Mevlana müzesinde oluşan hasarlar ve nedenleri araştırılmış, alınacak önlemler belirlenmiştir. Bu amaçla müzede taşıyıcı duvar ve kubbelerde kullanılan yapı malzemelerinin fiziksel ve mukavemet özellikleri belirlenmiştir. Müzenin oturduğu zeminin jeolojik ve geoteknik yapısını belirlemek amacıyla müze çevresinde 5 noktada zemin sondajı ve SPT yapılmış, zemin örnekleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Müzede oluşan hasar nedenlerini belirlemek ve taşıyıcı sistemi tahkik etmek amacıyla müze SAP2000 programında modellenmiş ve çözülmüştür. Çözümde müze ile ilgili yapılan rölöve çalışmaları kullanılmıştır. Bu çözüm ile taşıyıcı sistemde oluşan gerilmeler değerlendirilmiş, müzede oluşan çatlaklarla karşılaştırılmıştır. Müze temellerinde farklı oturmaya bağlı duvar ve kemerlerde çatlamlar meydana gelmiştir. Temel iyileştirme yöntemi olarak müzenin fonksiyonu devam ederken uygulanabilen, Üretek zemin iyileştirme yöntemi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gödene Taşı, Mevlana Müzesi,
SAP2000 Programı, Temel Güçlendirmesi,
Üretek Zemin Islahı

**INVESTIGATION OF THE CAUSES OF THE DAMAGES IN MEVLANA MUSEUM AND
SELECTION OF A PROPER FOUNDATION STRENGTHENING SYSTEM**

ABSTRACT

In this study the damages at the Mevlana Museum and their causes are researched and the precautions to be taken are determined. With this aim, the physical and strength properties of the construction materials used in the structural walls and the domes are obtained. In order to determine the geological and geotechnical structure of the ground where the museum build upon, soil borings and SPT samples are taken at 5 points around the museum. The museum was modeled and analyzed in SAP 2000 software to verify the strength of the structural system and to identify the reasons for the damages. Museum surveying studies are utilized in the analyses. Based on the analysis results, the stresses in the structural system were evaluated and the crack formations were investigated. The walls and arches have cracks due to different settlements at the museum foundations. As the strengthening method of the foundation, the "Uretek" ground strengthening method which can be applied while the museum functions was suggested.

Keywords: Godene Stone, Mevlana Museum, SAP2000 Program,
Foundation Strengthening, Uretek Soil Improvement

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Tarihi yapılar, insanlığın çeşitli medeniyet evrelerinde değişik amaçlarla inşaa ettiği, bugün insanlığın ortak mirası olarak korunması gereken ve gelecek kuşaklara ve aktarmak durumunda olduğumuz yapılardır.

Tarihi yapıların her ne şekilde olursa olsun özüne dokunulmadan, gerek taşıyıcı yapısında, gerekse süslemelerinde herhangi bir değişiklik yapmadan onarılması, takviyesi ve her türlü dış etkiye dayanıklı hale getirilmesi kaçınılmaz bir zorunluluktur. Bu bağlamda; onarım ve yenileme esnasında hiçbir elamanının orijinalinin değiştirilmemesi ya da yozlaştırılmaması gereklidir. Dolayısıyla yapılacak onarım ve takviye öğeleri orijinal elamanların içerilerine gizlenerek ya da kompozisyonlarını ıslah ederek yapılmalıdır. Tarihi yapıları güçlendirme ve takviye edilmesinde en önemli kural, yapılacak takviye ve güçlendirme elemanlarının zamanla değiştirilebilmeli, sökülüp yenilenme özelliğinde olmalıdır [1].

Tarihi yapılarda genel anlamda dört ana nedenle hasar ve dolayısıyla nihai göçme oluşmaktadır.

- Yılların yıpratıcı etkisi dolayısıyla yapı malzemelerinin bozulması ya da çürümesi;
- Zeminde oluşan oturmalar nedeniyle hasarların oluşması;
- Deprem vb. zemin hareketleri;
- Yanlış yapılan restorasyon ve güçlendirme çalışmaları.

Yurdumuzda çok sayıda tarihi yapı bulunmaktadır. Bunlardan Mevlana müzesi en önemlilerindendir (Şekil 1). Mevlana müzesi de diğer birçok tarihi yapıda olduğu gibi yığma bir yapıdır ve çeşitli kemer formlarından oluşmaktadır.

Mevlana Müzesi bugün Türkiye'nin en çok ziyaret edilen 3. müzesi konumundadır. Yıllık ortalama 1.5 milyon yerli ve yabancı konuşa ev sahipliği yapmaktadır. Ayrıca Türk-islam anlayışında da önemli yer tutmaktadır. Bu açıdan müzede yapılacak güçlendirme çalışmaları önemlidir.



Şekil 1. Mevlana müzesinden görünüş
(Figure 1. A view from the Mevlana museum)

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Kültür mirasımızın en önemli parçası olan tarihi yapılar, korunmalı ve değerlendirilmelidir. Taş ve tuğla malzeme kullanılarak

Yığma yapı tekniğine göre inşa edilmiş tarihi yapıların taşıyıcı sistemini kubbe, tonoz, kemer, pandantif ve masif duvarlar oluşturur.

Bu elemanlar aynı zamanda yapının genel formunu belirler. Yığma yapı tekniği kullanılmış tarihi yapılar için en büyük tehlike zemin oturmaları ya da deprem yüklerinden dolayı oluşan çekme gerilmeleridir. Tarihi yapıların geleneksel mühendislik hesap yöntemleriyle analiz edilmesi gerek karmaşık geometrik yapıları gerek özellikle yığma yapılarda farklı malzeme özellikleri nedeniyle oldukça zordur. Bu nedenle, tarihi yapıların analizinde 3 boyutlu modeller oluşturularak sonlu elemanlar yöntemi ile bilgisayar ortamında analiz etmek daha uygundur.

Tarihi eserlerin onarımı ile güçlendirilmelerini birbirinden ayırmak mümkün değildir. Zira güçlendirme operasyonları strüktürel onarımla birlikte yapılmalı ve taşıyıcı sistem içine gizlenmelidir. Daha sonra diğer tamirler yapılarak onarım tamamlanmalıdır. Bir tarihi eser onarımının birinci aşaması hasarların nedenlerinin doğru olarak tespit edilmesidir. Bunun için çatlak etütleri yapılab haritalanmalı ve bilgisayar modellemesi yapılarak çatlak nedeni olan çekme gerilmelerinin büyüklükleri olabildiğince sağlıklı olarak hesaplanmalı ve buna bağlı olarak sağlıklı bir onarım-güçlendirme projesi hazırlanmalıdır. Onarıma her şeyden önce temel zeminin güçlendirilmesi ile başlanılmalıdır [2].

Bu çalışmada Mevlana müzesinde oluşan hasarların nedenleri araştırılmış, temel ıslah yöntemleri belirlenmiştir. Bu amaçla İdarece hazırlattırılan Rölöve - Restitüsyon - Restorasyon projeleri doğrultusunda, taşıyıcı duvarlardan alınan gerekli ve yeterli sayıdaki numunelerinin deney sonuçları ve mevcut zemin durumu verileri ışığında Müze, SAP2000 programında modellenmiş, müzenin mevcut taşıyıcı sisteminin düşey ve yatay yüklere göre yeterli olup olmadığı araştırılmıştır. Çatlakların oluştuğu noktaların bilgisayar ortamında detaylı incelenmesi yapılmış, ayrıca duvar ve taşıyıcı ayaklar altındaki temellere gelen basınç ve temel sisteminin yeterli olup olmadığının tahkik edilmiştir. Bu çalışmada alternatif temel güçlendirme sistemleri tartışılmıştır. Üstyapı ile ilgili bir güçlendirme yönteminin detay ve analizlerine değinilmemiştir. Fakat elde edilen bulguların ileri bir zamanda bu tür bir güçlendirme yapılmak istendiğinde bir ön fikir vereceği düşünülmektedir.

3. MÜZENİN TARİHÇESİ (HISTORY OF THE MUSEUM)

1273 yılında ölen Mevlâna'nın türbesi Selçuklular döneminde 1274 yılında Alemeddin Kayserin denetiminde mimar Bedrettin Tebrizi tarafından yapılmıştır. 1274 yılında tamamlanan Mevlâna'nın türbesinin orijinali, taştan dört fil ayağının taşıdığı bir kubbeden oluşmaktaydı. Türbenin bugünkü şekli Karamanoğlu Alaeddin Ali Bey döneminde oluşturulmuştur. Karamanoğlu Alaeddin Ali Bey'in Mevlâna Türbesinde çeşitli onarımlar gerçekleştirdiğine dair belgeler tarihi kaynaklarda mevcuttur. Osmanlı döneminde Türbeye Semahane ve mescit kısımları eklenmiştir (Şekil 2, Şekil 3). Yapı Selçuklular, Karamanoğulları ve Osmanlılar döneminde birçok kez onarımdan geçmiştir. Mevlana Müzesindeki onarımlar günümüzde de hala devam etmektedir [3].



Şekil 2. Mevlana müzesi bölümleri eklenme kronolojisi [3]
(Figure 2. The chronology of the additions to the Mevlana museum [3])

DÖNEM EKLERİ	
SELÇUKLU DÖNEMİ (13. YÜZYIL)	Blue
BEYLİKLER DÖNEMİ (14. - 15. YY.)	Yellow
KLASİK OSMANLI DÖNEMİ (16. - 17. YY.)	Green
OSMANLI DÖNEMİ (18. YÜZYIL)	Red
OSMANLI DÖNEMİ (19. YÜZYIL)	Purple
SON DÖNEM (20. YÜZYIL)	Brown

Şekil 3. Mevlana müzesi bölümleri eklenme kronolojisi tablosu [3]
(Figure 3. The Table for the chronology of the additions to the Mevlana museum [3])

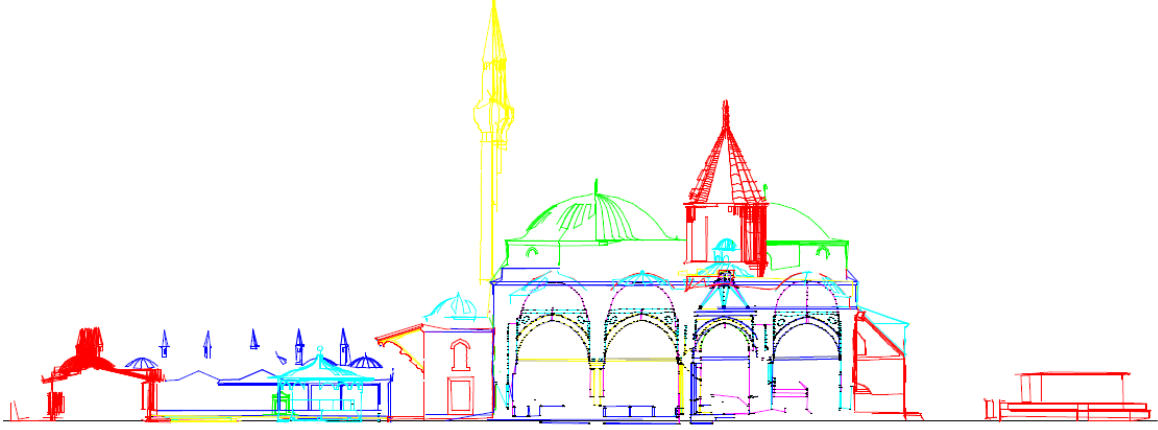
4. YAPILAN ÇALIŞMALAR (THE STUDIES CARRIED OUT)

4.1. Röleve Projesi ve Tespit Çalışmaları (Surveying Project and in Situ Studies)

Mevlana müzesinde restorasyon amaçlı olarak Mimar M.Argun Kocadağıstan tarafından rölövesi alınmış ve projesi hazırlanmıştır. Çalışma aşağıda belirtilen aşamaları kapsamıştır [3].

Binanın yatay ve düşey ölçüleri, reflektörsüz ölçüm yapabilen SOKKIA 530 RK marka total station ile alınmıştır, dıştan Reflektörsüz total station ölçüm cihazı ile ölçülmüş ve ayrıca ölçüm aletinin kullanılmadığı yerlerde, özellikle küçük hacimlerde, dijital metre, şerit metre, lazer nivo, detay tarağı gibi, klasik ölçüm aletleri ve birden fazla ekipler oluşturularak çalışma yapılmıştır. Bu alımlar iki, üç boyutlu olarak, yapının elverdiği ölçüde gerçekleştirilmiştir. Ölçüm aletinin bilgisayara gönderdiği x,y,z koordinatları, bilgisayar ortamında çizgisel olarak iki boyutlu hale getirilerek, ihtiyaç duyulan çizimler şekline dönüştürülmüştür. Reflektörsüz Total Station ile yapılan ölçüm, bilgisayar ortamında önce noktasal koordinatlara ve sonra çizgisel değerlere çevrilerek binaya ait plan, kesit ve görünüşler çıkarılmıştır (Şekil 4.1). Mevcut durumunu gösteren

fotoğraflar, özellikle rölöve çizimlerinde bilgisayar ortamında perspektif hataları ve deformasyonları giderilerek çizimlere eklenmiştir. Bilinmeyen ve ulaşılamayan kısımların ölçü değerleri belirtilmemiş ve kesik çizgilerle taranan bölgeler içinde tahmini olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 4. Total Station ile alınmış ön görünüşe indirgenmiş ön çalışmalar [3]
(Figure 4. Preliminary studies reduced to the preview taken by Total Station [3])

4.2. Sorunlar ve Mevcut Fiziki Durum Değerlendirmesi

(Problems and the Evaluation Current Physical Condition)

Yapıda meydana gelen hasarların nedenleri, uygun koruma yöntemlerinin belirlenmesi ve gerekli önlemlerinin alınmasına yönelik olarak sebep-sonuç-çözüm ilişkileri bağlamında irdelenmiştir. Yapı yapıldığı günden günümüze önemli ilaveler ve tamiratlar gibi müdahalelere maruz kalmıştır. Yapıya zaman içinde uygulanan farklı yöntemler, kullanılan malzemeler ve onarım aşamaları değerlendirilmiştir.

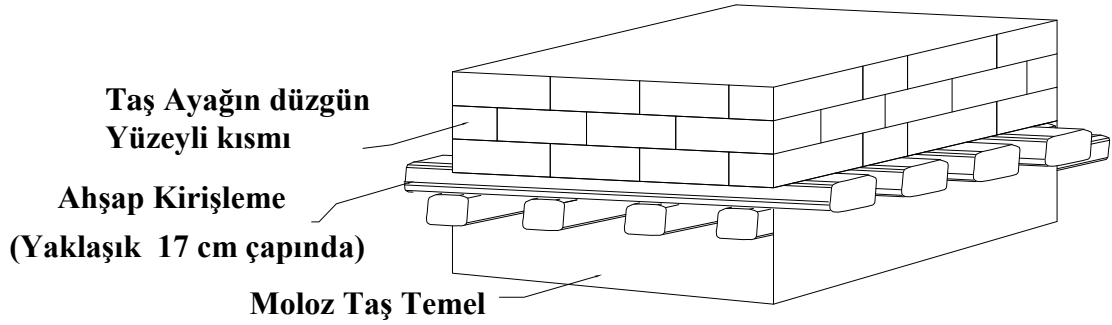
4.2.1. Yapı bütününde görülen taşıyıcı sistem sorunları

(Structural System Problems Experienced Within the Whole Structure)

Yapı gurubu zaman içinde geçirdiği onarımlar ile bugünkü kütlelerini kazanmıştır. Özellikle üç cephede yapılan payanda destekleri, yapının önemli statik sorunlarla karşılaşmış olduğunu göstermektedir. Son yıllarda Müze Müdürlüğü tarafından bir takım sorunlar tespit edilmiş ve bu sorunlara bazı çözümler getirilmiştir. Özellikle Semahane zemin döşemesi sökülmüş ve mevcut dolgu toprak yaklaşık 1.00 m boşaltılmıştır. Bu kazıda çeşitli çini parçaları ve mezar izlerine rastlanmıştır, asıl önemli olan ise ana taşıyıcı fil ayakların (sütunların) durumu gözlenmiştir (Şekil 5, Şekil 6).



Şekil 5. Semahane zemininin kazı sonrası durumu
(Figure 5. The view of the Whirling Hall ground after the excavation)



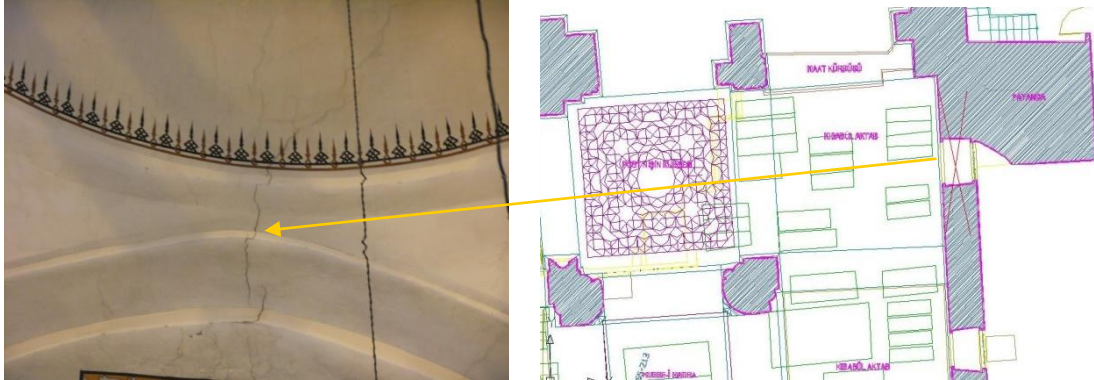
Şekil 6. Taşıyıcı ayakların temel durumunu gösteren çizim [3]
(Figure 6. The scheme which shows the foundation status of the carrier footings [3])

Şekil 6'da görülen ve fil ayaklarını (sütunları) taşıyan temel içindeki iki yönlü ahşap ızgara temel zaman içinde topraktan aldığı nem ile çürümüş ve taşıyıcı özelliğini kaybetmiştir. Ahşapların yerleri tamamen boşluk haline gelmiş ve üst bölümün düşey hareketine yani oturmasına neden olabileceği düşünülmüştür. Düşey hareketlerin devam etmesini önlemek için, bu boşluklara tekrar ahşap kirişler teşkil edilmiş (Şekil 7), boşaltılan yerlere yaklaşık 80 cm kalınlığında kum-çakıl dolgu yapılmıştır. Bunun üzerine 3-4 cm kireç ile tesviye yapılmış ve 10x10 cm² kesitli ahşap kirişler üzerine 5x10 cm² kesitli ahşap kadronlar konularak ahşap döşeme tekrar yapılmıştır.

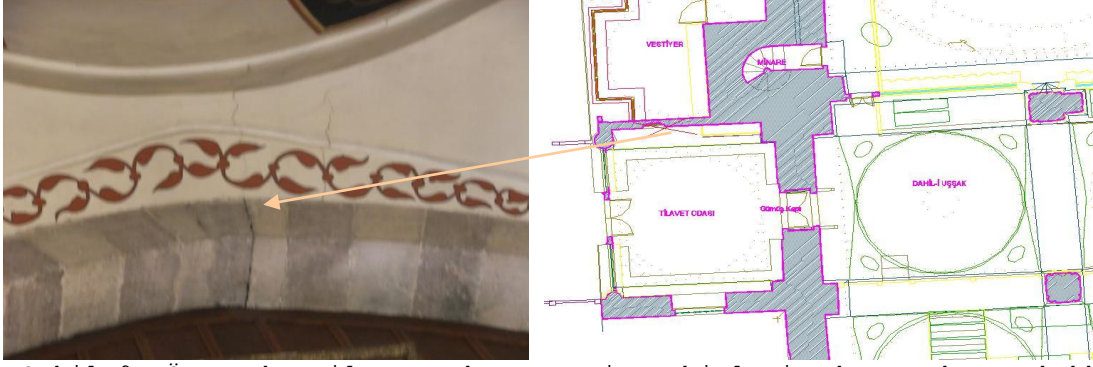


Şekil 7. Taşıyıcı fil ayağın (sütunun) yenilenmiş ahşap ızgara destekli temel sistemi
(Figure 7. The foundation system of the structural dome column supported by the renewed wooden grid)

Bazı ayak ve duvarlarda farklı oturmanın olduğu, buna bağlı olarak duvarlarda ve kemer kubbe birleşim yerlerinde çatlakların olduğu görülmüştür. Oluşan çatlakların konumu müze planı içinde gösterilmiştir. (Şekil 8, Şekil 9)



Şekil 8. Arka cephe payanda önü Kibabül Aktab duvar-kubbe birleşim yeri çatlağı
(Figure 8. Kibabül Aktab Wall-dome intersection crack at the rear facade front of the strut)



Şekil 9. Ön cephe Tilavet odası-Vestiyer birleşim duvarı kemer-kubbe birleşim yeri çatlağı

(Figure 9. Front facade arch-dome connection region crack at the connection wall of Recitation room and Cloakroom)

4.3. Taşıyıcı Sistemini Oluşturan Taş ve Tuğla Numuneler Üzerinde Yapılan Laboratuvar Deneyleri ve Sonuçları (The Laboratory Experiments Carried Out on the Stone and Brick Samples Used in the Structural System and The Results)

Müzedeki oluşan bozulmaların nedenini belirlemek amacıyla mevcut durumdaki müzenin taşıyıcı sistemini oluşturan duvarlardan taş ve tuğla numuneleri alınmış ve bu numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, su emme, serbest basınç, donma-çözülme deneyi vb. deneyler yapılarak yapı taşları ve tuğlaların fiziki, mekanik özellikleri ve dayanımları araştırılmıştır. Örneklerin hazırlanmasında ve deneylerde TSE 699-Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Metotları (TSE 1987) [4], TSE 4045-Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini (TSE 1984) [5] ve TSE 2513-Doğal Yapı Taşları (TSE 1977) [6], standartına uyulmuştur.

4.3.1. Taş Numunelere Ait Fiziksel ve Mekanik Parametrelerin Bulunması (Determining the Physical and Mechanical Parameters of the Stone Samples)

Müzedeki iki farklı doğal taş numunesi alınmıştır. Bunlar müzenin taşıyıcı sistemini oluşturan ve gödene taşı olarak adlandırılan sert kireçtaşı, sahada genellikle daha basit kaplama ve benzeri işlerde kullanılan ve sille taşı olarak adlandırılan andezit taşlarıdır. Bu taşlardan 7x7x7 cm boyutlarında hazırlanan numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Tablolardan görüleceği üzere sille taşı gödene taşına göre daha az yoğunlukta, daha boşluklu bir yapıya sahip, su emme kapasitesi yönünden daha fazla su emmeye meyilli bir taştır. Gödene taşı ise yoğunluk, prozite ve su emme kapasitesi yönünden daha iyi mühendislik özellikleri göstermektedir.

Tablo 1. Gödene taşı numuneler için fiziksel ve kapiler deney sonuçları
(Table 1. Physical and capillary test results for the Gödene stone samples)

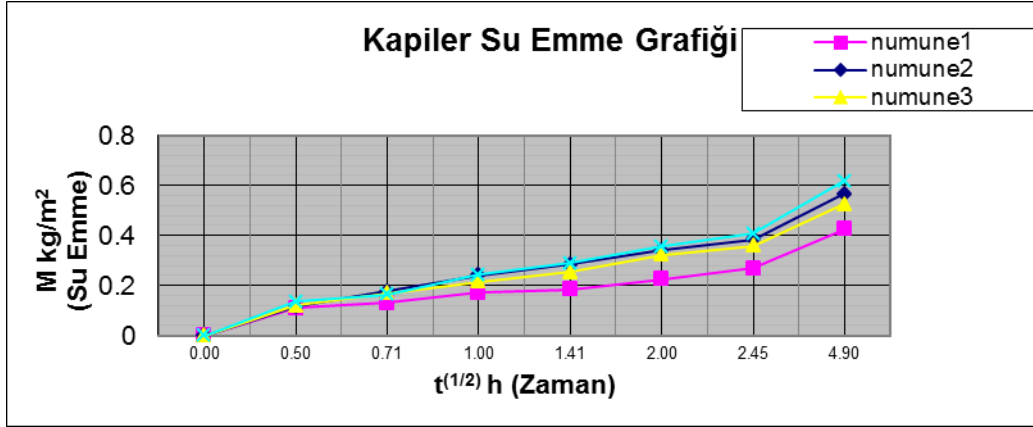
		Su Emme			
		Arşimetrik	Kütlece	Hacimce	Görünen Porozite
Numune	Hacim Kütleli	Hacim Kütleli	$S_k = (G_d - G_k) / G_k$	$S_k = (G_d - G_k) / (G_d - G_{ds})$	$P_g = (G_d - G_k) / (G_d - G_{ds})$
No	$d_h = (G_k / V)$	$d_h = G_k / (G_{dh} - G_{ds})$	$G_d = G_{dh}$	$G_d = G_{dh}$	$G_d = G_{dh}$
	gr/cm ³	gr/cm ³	%	%	%
1	2.53	2.56	0.88	2.24	2.24
2	2.66	2.58	0.83	2.13	2.13
3	2.60	2.58	0.65	1.68	1.68
4	2.59	2.56	1.03	2.65	2.65
5	2.65	2.57	0.73	1.87	1.87
6	2.63	2.59	0.63	1.64	1.64

Tablo 2. Sille taşı (andezit) numuneler için fiziksel ve kapiler deney sonuçları
(Table 2. Physical and capillary test results for the Sille stone (andesite) samples)

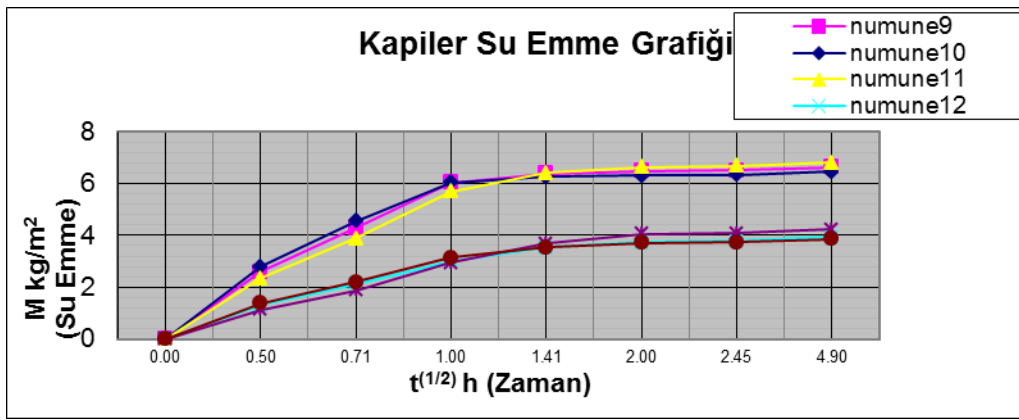
		Su Emme			
		Arşimetrik	Kütlece	Hacimce	Görünen Porozite
Numune	Hacim Kütleli	Hacim Kütleli	$S_k = (G_d - G_k) / G_k$	$S_k = (G_d - G_k) / (G_d - G_{ds})$	$P_g = (G_d - G_k) / (G_d - G_{ds})$
No	$d_h = (G_k / V)$	$d_h = G_k / (G_{dh} - G_{ds})$	$G_d = G_{dh}$	$G_d = G_{dh}$	$G_d = G_{dh}$
	gr/cm ³	gr/cm ³	%	%	%
9	2.20	2.24	3.98	8.92	8.92
10	2.23	2.23	4.01	8.96	8.96
11	2.36	2.25	3.98	8.88	8.88

4.3.2. Taş Numuneler Üzerinde Kapilarite Deneyi (Capillarity Test on Stone Samples)

Mevlana müzesinde yapı taşı olarak kullanılan Gödene ve Sille taşından, 14 adet 7x7x7 cm boyutlarındaki taş numune kapilarite deneye tabii tutulmuştur. Temel, kapilarite teorisi, kapiler su emme ($M - kg/m^2$) ve kapiler su emme katsayısı ($A - kg/(m^2 * t^{0.5})$) dır. Sonuçlar Şekil 10 ve Şekil 11' de verilmiştir.



Şekil 10. Gödene taşı numunelerinde kapiler su emme grafiği
(Figure 10. Capillary water absorption graph for Gödene stone samples)



Şekil 11. Sille taşı numunelerinde kapiler su emme grafiği
(Figure 11. Capillary water absorption graph for Sille stone samples)

Gödene taşında kapilarite katsayısı ortalama olarak $A=0.106663 \text{ kg/m}^2\text{t}^{1/2}$, Sille taşında ise, kapilarite katsayısı ortalama olarak $A=4.036448 \text{ kg/m}^2\text{t}^{1/2}$ bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere gödene taşının kapilaritesi oldukça düşüktür ve yavaş gerçekleşmektedir. Sille taşlarında ise kapilarite oldukça yüksek ve çok hızlı kapiler doygunluğa erişmektedir. Gödene taşları kapiler etkilere karşı daha dayanıklıdır.

4.3.3. Taş Numuneler Üzerinde Serbest basınç deneyi (Unconfined Compression Test on Stone Samples)

Bu deney Müzenin taşıyıcı duvarlarında kullanılan Gödene ve Sille taşının basınç mukavemetini belirlemek, bu değerleri SAP2000 deki modellemeye kullanmak ve duvarların taşıma güçlerini yaklaşık hesaplanmak için yapılmıştır. Deney sonunda Gödene taşı (kireçtaşı) numunelerinin ortalama serbest basınç mukavemeti 93.59 N/mm^2 , Sille taşı (Andezit) numunelerinin ortalama serbest basınç mukavemeti 68.81 N/mm^2 olduğu görülmüştür.

Buradan Gödene taşının çok yüksek bir basınç mukavemetine sahip olduğu, Sille taşının ise, Gödene taşına göre daha az basınç mukavemetine sahip olduğu görülmüştür.

TDY-2007[7] Yığma yapılar ile ilgili bölümden (Bölüm 5.3.2 Duvarlarda Basınç Emniyet Gerilmesi) SAP2000 de kullanılmak üzere Taş duvarların Basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve Emniyet gerilmesi hesaplanmıştır. TDY 2007 ' ye göre yapılan hesap aşağıdaki gibidir.

Gödene Taşı Basınç Dayanımı = 93.6 N/mm^2 (ortalama) (fd)

$$\begin{aligned} \text{Taş Duvar Basınç Dayanımı} &= (fd/2) = 93.6/2 = 46.8 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Taş Duvar Emniyet Gerilmesi} &= (fd/4) = 93.6/4 = 23.4 \text{ N/mm}^2 \\ \text{Taş Duvar Elastisite Modülü} &= 200 \times fd = 200 \times 93.6 = 18720 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Burada ;

$$\begin{aligned} fd &= \text{Yapı Taşının basınç dayanımı} \\ Ed &= 200 \times fd \text{ dir. (TDY-2007)} \\ Ed &= (\text{Taş duvarın elasisite modülü}) \end{aligned}$$

4.3.4. Taş Numuneler Üzerinde Sodyum Sülfat ile Don Kaybı Deneyi (Loss of Frost Test on Stone Samples Using Sodium Sulfate)

Bu deney ile kapilarite yoluyla zeminden su emen müze taş duvarlarının; Konya da kış aylarında hava sıcaklığının -20 0C kadar düşmesi nedeniyle tekrarlı donma çözülme sonucunda oluşacak bozulmalar karşısında müze taşıyıcı taş duvarlarının doğal şartlara dayanımı incelenmiştir.

Sonuçlardan Gödene taşının tekrarlı donma çözülmeye karşı dayanımı oldukça yüksek olduğu görülmüş olup, kütle kaybı ortalama % 0,26 'dır. Sille taşının ise tekrarlı donma çözülmelere karşı oldukça dayanıksız ve hassas olduğu görülmüştür. Kütle kaybı ortalama % 8,63 'dür.

4.3.5. Taşıyıcı Sistem Oluşturan Tuğlalar Üzerinde Yapılan Deneyler (The Experiments on the Bricks Used in the Structural System)

Bu deney Müzenin kubbelerinde ve bir kısım kemerlerinde kullanılan tuğlaların basınç mukavemetini belirlemek, bu değerlerin SAP2000 deki modellenmesinde kullanmak ve tuğlaların taşıma güçlerini yaklaşık hesaplamak için yapılmıştır.

Mevlana müzesinin taşıyıcı duvarları haricinde, kubbelerde ve kemerlerde 22x23x3.5 cm boyutunda Selçuklu tuğlası kullanılmıştır. Tuğla numunelerinin basınç mukavemetini belirlemek amacıyla, alınan tuğla örnekleri 3x3x3 cm ve 4x4x4 cm lik küp numuneler şeklinde hazırlandı. Serbest basınç deneyine tabi tutulan numunelerden deney sonucunda Selçuklu dönemi tuğlalarının ortalama basınç dayanımı 17.86 N/mm² olduğu görülmüştür.

Kubbe ve kemer taşıyıcı sistemi Selçuklu dönemi tuğlalarından oluşmakta olup, hesaplarda bu tuğla dayanımları kullanılmıştır.

TDY-2007 Yığma yapılar ile ilgili bölümden (Bölüm 5.3.2 Duvarlarda Basınç Emniyet Gerilmesi) SAP2000 de kullanılmak üzere Tuğla duvarların Basınç dayanımı, Elastisite Modülü ve Emniyet gerilmesi hesaplanmıştır. TDY-2007 ' ye göre yapılan hesap aşağıdaki gibidir.

Selçuklu dönemi Tuğlası Basınç Dayanımı, $fd = 17.7 \text{ N/mm}^2$ (ortalama)

$$\text{Tuğla Duvar Basınç Dayanımı} = (fd/2) = 17.7/2 = 8.85 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tuğla Duvar Emniyet Gerilmesi} = (fd/4) = 17.7/4 = 4.425 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Tuğla Duvar Elastisite Modülü} = 200 \times fd = 200 \times 17.7 = 3540 \text{ N/mm}^2$$

Burada ;

$$\begin{aligned} fd &= \text{Tuğla basınç dayanımı} \\ Ed &= 200 \times fd \text{ dir. (TDY-2007)} \\ Ed &= \text{Tuğla duvarın elasisite modülü} \end{aligned}$$

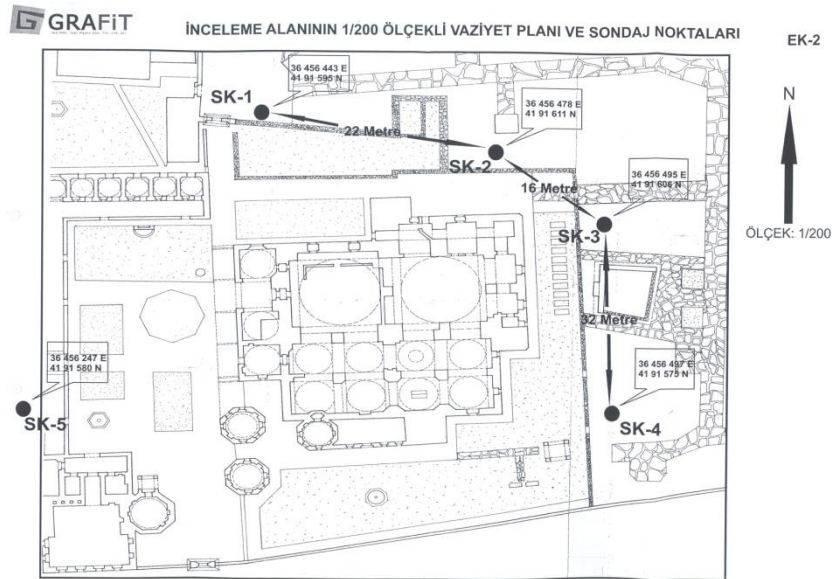
4.4. Zemin Etüt Çalışmaları (Ground Investigation Studies)

Mevlana Müze Binası zemininin jeolojik ve geoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla müze çevresinde Grafit Jeo. Müh. Yapı Maden San. Tic. Ltd. Şti tarafından sondaj ve SPT çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalar Aralık-2008 tarihli rapor ile sunulmuş, çalışmada bu rapordan faydalanılmıştır [8].

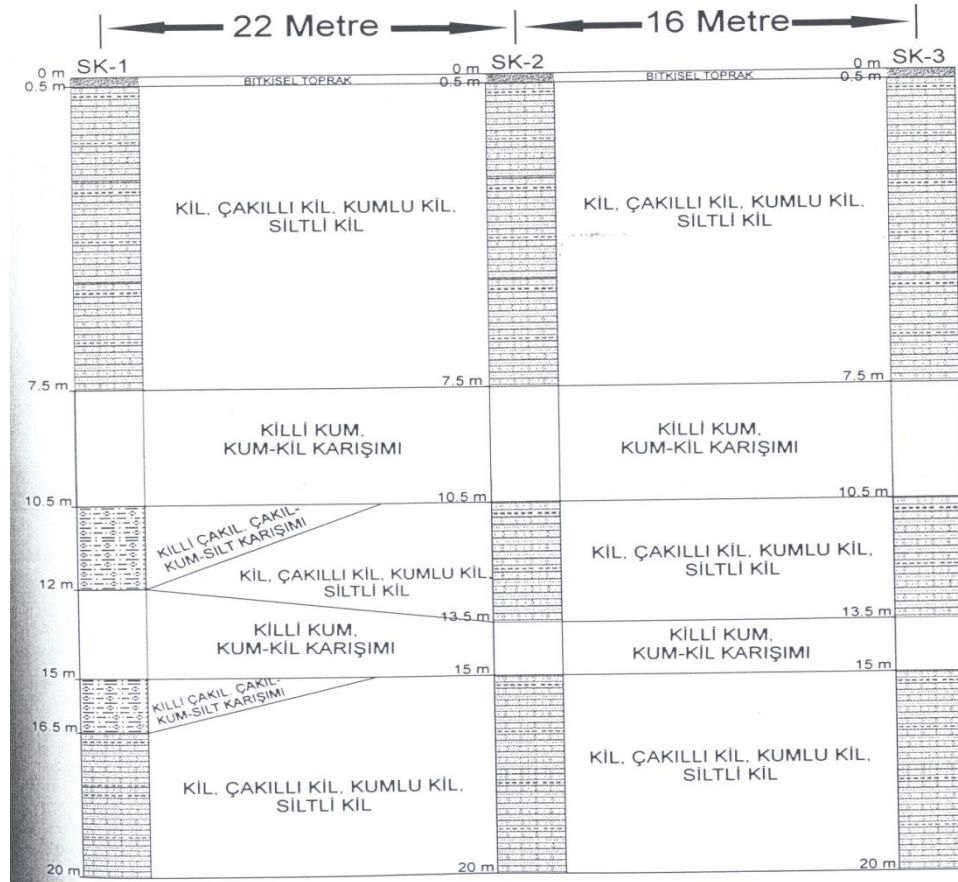
Araştırma alanında 5 adet açılan inceleme sondajı (Şekil 12) ve yapılan gözlemler, yerinde uygulanan deneyler, yüzey jeolojisi çalışmaları ile arazinin zemin özellikleri belirlenmiş, bu değerlendirmeler ışığında müze binası için alınacak önlem ve zemin iyileştirme teknikleri araştırılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları birlikte değerlendirildiğinde Müzenin oturduğu zemin genel anlamda 0-0,5 m arası bitkisel toprak, 0,5-7,50 m arası kil, çakıllı kil, kumlu kil, siltli kil, 7,50-10,0 m arası siltli kum, kum-silt karışımları, 10,0-20,0 m arası ise killi kum, silt/kil-kum-çakıl karışımlarından oluştuğu görülmektedir.

Temel sondaj raporundan elde edilen bilgiye göre, Temel sondajlarının ilerlemesi esnasında 3 m ve 6 metrelerde SK-1 ve SK-2 kuyularında eski tarihi yapılardan kalma görsel niteliği belirlenemeyen moloz ve dolgu seviyeleri tespit edilmiştir. Bu tür dolguların özelliği boşluklu olması ve zemin suyu vb. faktörler etkisi ile göçmeye (oturmaya) sebep olan mekanizmaların oluşabileceğidir. SK-2 sondaj kuyusunda 1,5 m derinlikte SPT N30 = 3, 3 m derinlikte SPT N30 = 2, SK-2 sondaj kuyusunda 1,5 m derinlikte SPT N30 = 7, 3 m derinlikte SPT N30 = 6 olup bulunan bu değerler yukarıdaki bulguyu desteklemektedir. Temel seviyesindeki SPT değerleri incelendiği zaman müze temellerinin genelde dolgu ve farklı sıklıktaki zemin tabakası üzerine oturduğu görülmektedir. Lös yapısında olan bu tür dolgu zeminlerin kuru iken yük taşıma kapasiteleri yüksek olup, yük altında ıslandıkları zaman farklı oturmalar yapabilmektedir. Müze içinde meydana gelen çatlamların nedeni bu tür oturmalarından kaynaklanmaktadır.

Müzenin oturduğu zemin profili Şekil 13'de verilmiştir.



Şekil 12. Sondaj yerleri ve vaziyet planı gösterimi [8]
(Figure 12. Boring locations and layout plan view [8])



Şekil 13. Müzenin oturduğu zemin kesiti
(Figure 13. Soil section where the Museum is built upon)

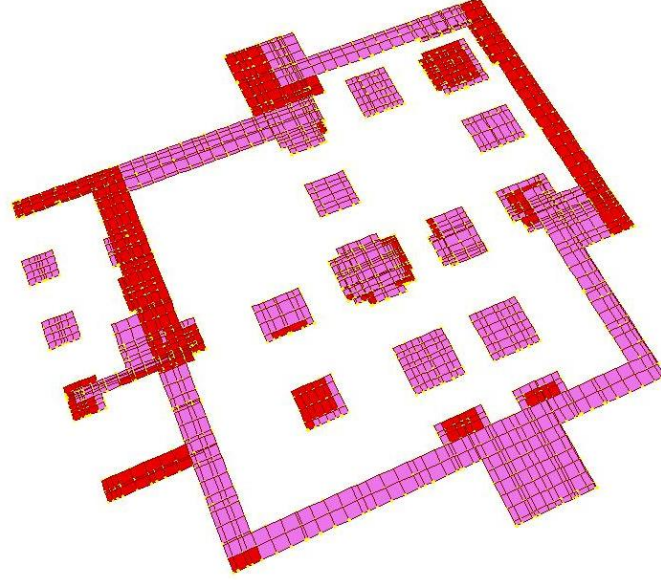
4.5. Müzenin SAP2000 İle Modellenmesi

(The Model of The Museum Using SAP2000)

Mevlana müzesinde yapılan röleve çalışmalarından, müzenin aplikasyon planı ve yeterli sayıda kesit görünüş elde edilmiştir [3]. Autocad ortamında hazırlanan röleve çalışmaları kullanılarak taşıyıcı sistem, tarafımızdan SAP2000 ile modellenmiştir [9].

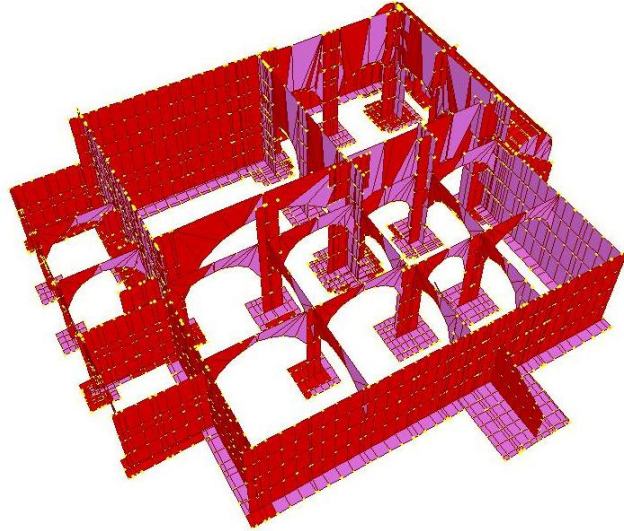
Temel sisteminin oluşturulması, taşıyıcı duvar ve fil ayaklarından farklı olarak X-Y koordinat sistemine göre modellenmiştir. Duvar ve fil ayakları merkez aksları doğrultusuna göre X-Z veya Y-Z de düşey olarak modellenmiştir. Buradaki amaç yatay düzlemde bulunan temele yay ataması (zemin tanımlaması) yapabilmektir. Temel malzeme olarak yine taş malzemeden oluşmuştur. Sürekli

duvarlarda akslarından 30 cm dışarıda taşacak şekilde ve yükseklikleri 50 cm, fil ayaklarında ise $40+50=90$ cm (50 cm ahşap ızgaralar hesaba alındığı için) dışarı taşacak şekilde ve 70 cm yüksekliğinde modellenmiştir. (Şekil 14).

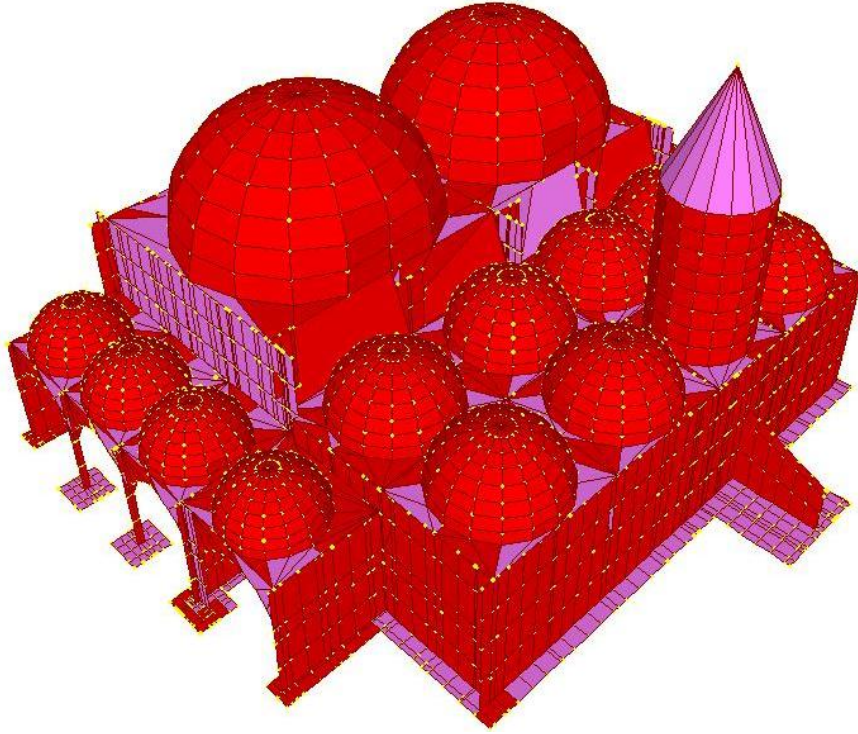


Şekil 14. Temel sisteminin X-Y yatay düzleminde oluşturulması.
(Figure 14. The construction of the foundation system on the X-Y coordinates)

Zemin modellemesi için temel altlarına zemini tanımlayan yay ataması yapılmıştır. Zemin etüt çalışmalarından elde edilen değerler kullanılarak zemin yatak katsayısı 2000 t/m^3 alınmıştır. Modellemenin kubbelerin yerleştirilmeden önceki durumu (Şekil 15) ve modellemenin bitmiş hali (Şekil 16) de görülmektedir.



Şekil 15. Taşıyıcı duvarların, kubbelerin yerleştirilmeden önceki durumu
(Figure 15. The view of the structural walls before the introduction of the domes)



Şekil 16. Modellemenin bitmiş hali
(Figure 16. The final view of the model)

5. SAP2000 MODELLEME SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF THE SAP2000 MODEL RESULTS)

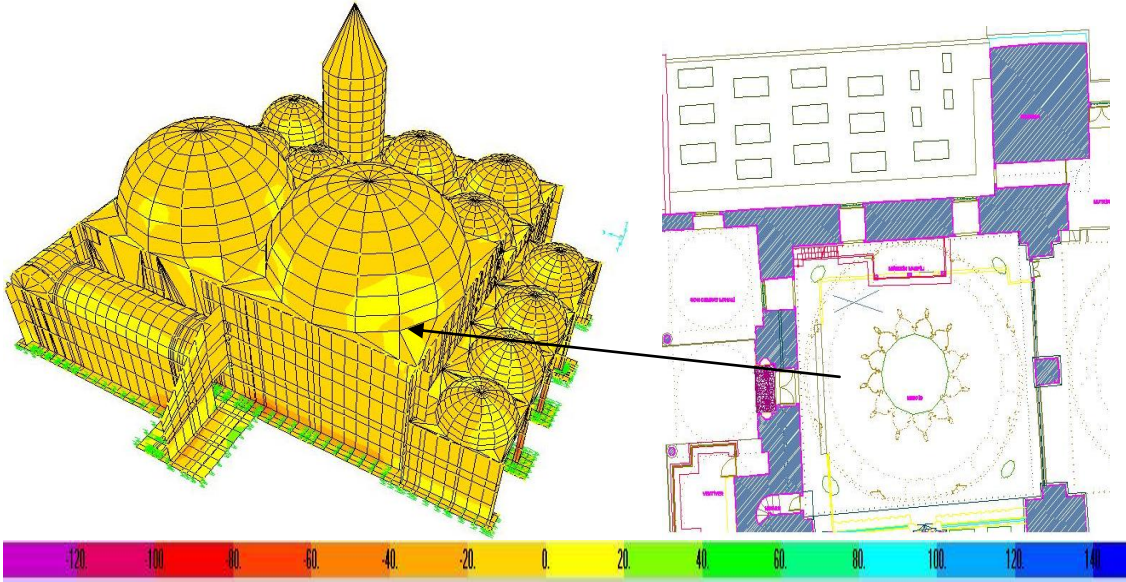
5.1. Bulunan Sonuçların Mevcut Fiziki Durumla Karşılaştırılması (Comparison of the Analysis Results With the Existing Physical Condition)

Yapılan çalışmada SAP 2000 modellemesinden elde edilen verilerle, müzenin mevcut Kubbe-Duvar-Kemer birleşim noktalarında oluşan çatlakların karşılaştırılması, mevcut yapı ağırlığı altında temellerinde oluşan gerilme ve rölatif oturmalar hesaplanmış ve temel davranışı incelenmiştir.

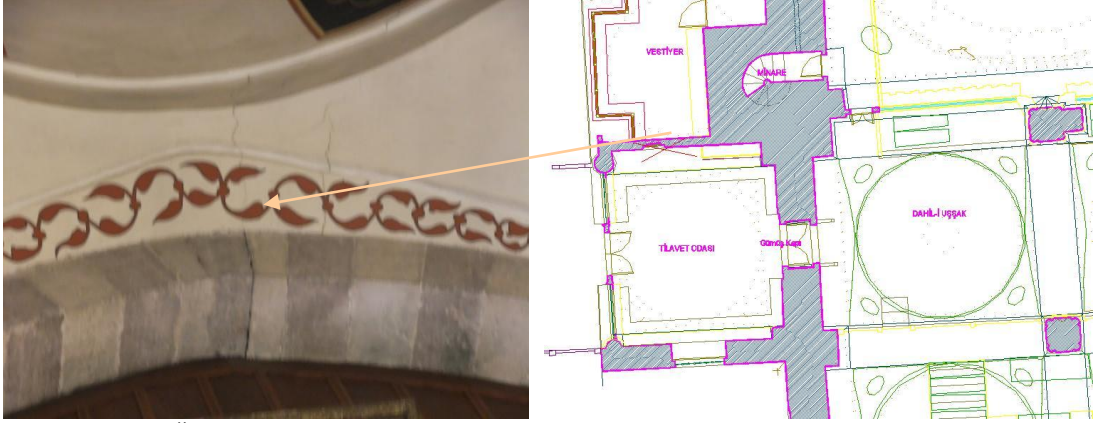
Müze kubbelerde meridyen şeklinde irili ufaklı çatlaklar tespit edilmiştir. Bunlardan en belirgin olanı, en büyük kubbe olan Mescit kubbesindeki çatlaktır (Şekil 17). Kubbede bulunan çatlak SAP 2000 modellemesi ile karşılaştırılmış oluşan çatlakların model ile uyumlu olduğu ve o noktalarda çekme gerilmelerinin olduğu görülmüştür (Şekil 17). (Modellemede açık sarı ile görülen noktalar + işaretli çekme gerilmelerini, daha koyu altın rengi görülen noktalar - işaretli basınç gerilmelerini göstermektedir.) Modellemeden de anlaşılacağı üzere, sol yan cephe temelini diğer temellere göre daha fazla oturmasından dolayı kubbelerde ve kemerlerde yer yer çekme gerilmeleri görülmüştür. Bu çekme gerilmelerinden dolayı oluşan çatlaklar plandaki durumları ile birlikte Şekil 19, Şekil 20, Şekil 21, Şekil 22'de ki gibidir.



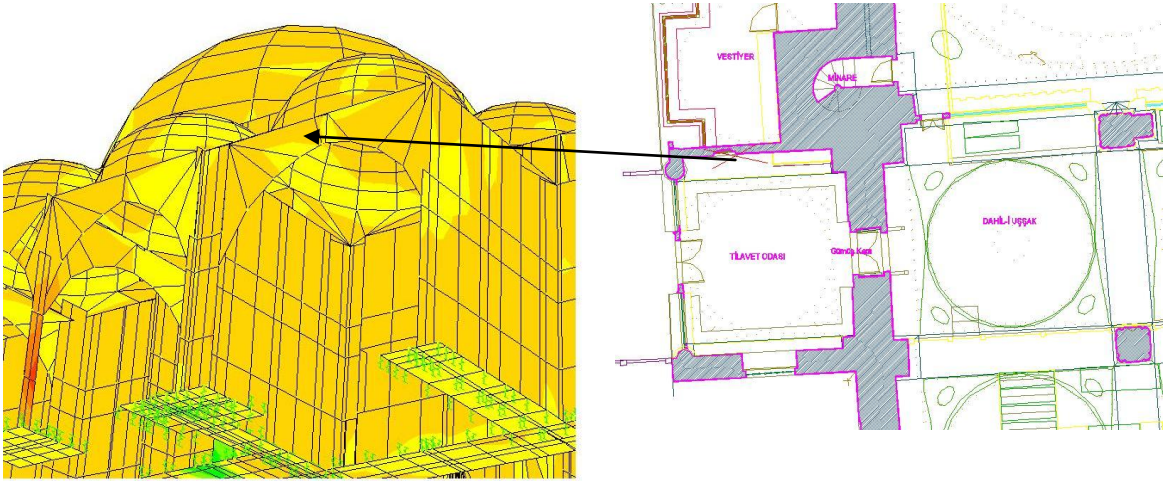
Şekil 17. Mescit kubbesinde oluşan çatlak ve plandaki durumu
(Figure 17. The crack at the dome of the mosque and its projection on the plan)



Şekil 18. Mescit kubbesi çatlakları modelleme görünümü ve ölçeği ($10^{-1} \times$
 N/mm^2) (Açık sarı renk çekme gerilmelerini göstermektedir.)
(Figure 18. The model view of the crack located at the dome of the
mosque and its scale ($10^{-1} \times N/mm^2$) (The light yellow color indicates
tensile stresses)



Şekil 19. Ön cephe Tilavet odası-Vestiyer birleşim duvarı kemer-kubbe birleşim yeri çatlağı
(Figure 19. Front facade arch-dome connection region crack at the connection wall of recitation room and cloakroom)



Şekil 20. Ön cephe Tilavet odası çatlağı modelleme görünümü
(Figure 20. The model view of the crack at the front facade of the Recitation room)

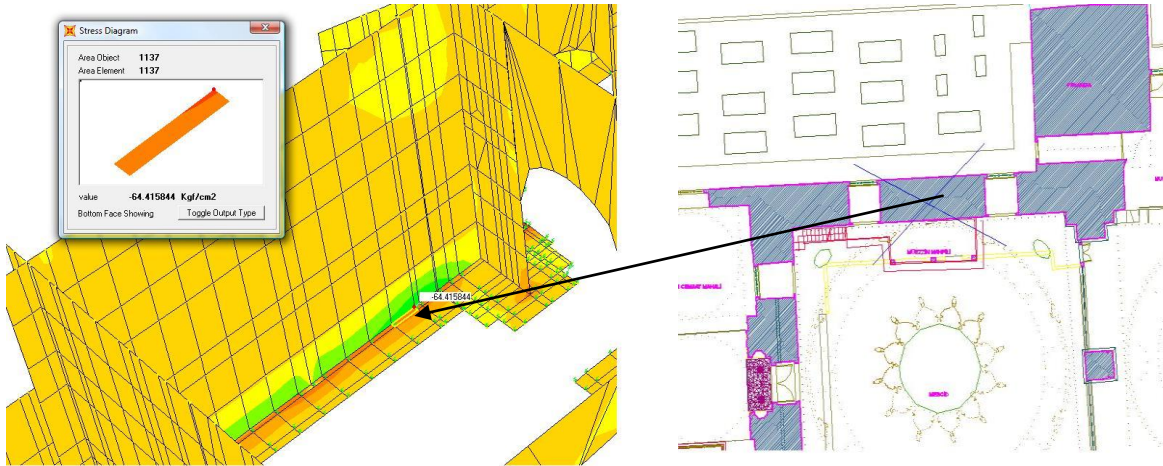


Şekil 21. Vestiye-Giriş arası kemer çatlağı
(Figure 21. The crack at the arch located between the Cloakroom and Entrance)

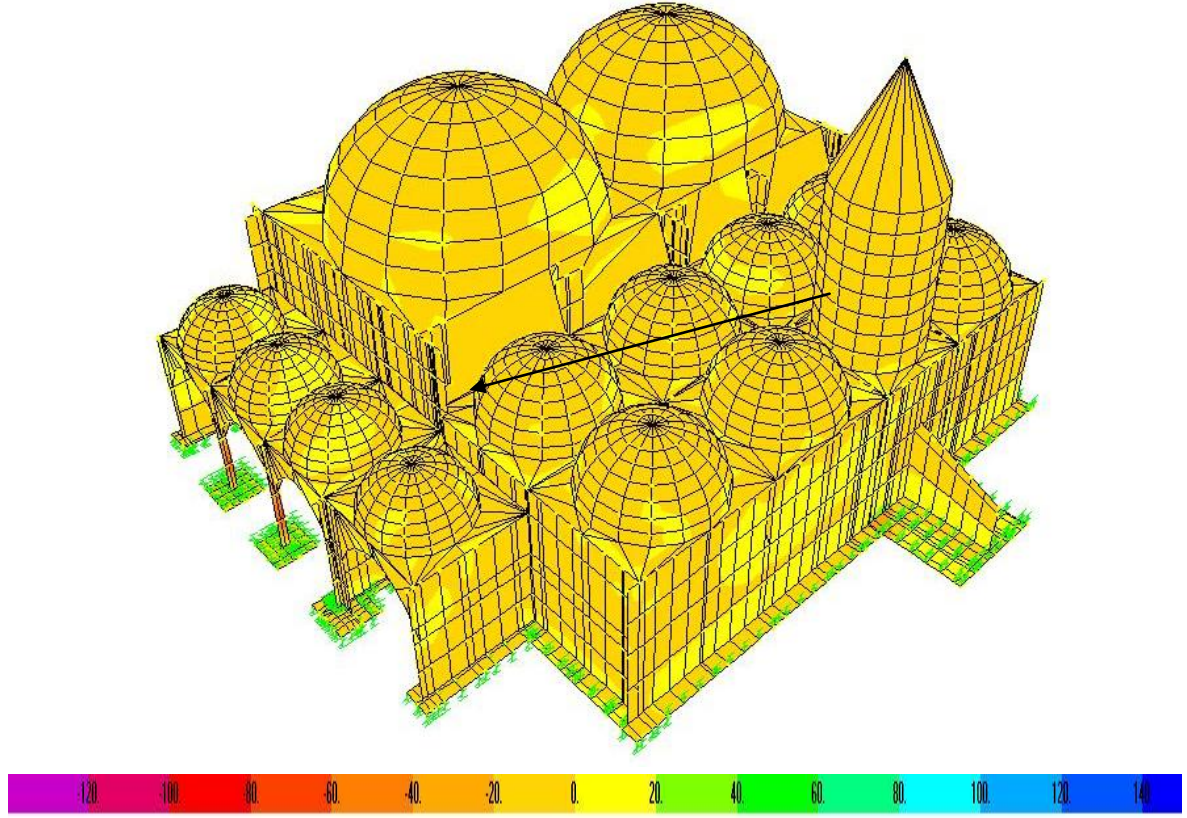


Şekil 22. Vestiyer-Giriş arası kemer çatlağı modelleme görünümü
(Figure 22. The model view of the crack at the arch located between
the Cloakroom and Entrance)

Müzenin taşıyıcı duvarları genel olarak incelendiğinde, mevcut yükler altında (G+Q yük birleşimi) duvarlarda temel seviyesinde oluşan maksimum düşey gerilmeler $6.5-7.0 \text{ N/mm}^2$ civarındadır. Bu gerilmeler özellikle oturmanın fazla olduğu sol yan cephe payanda-duvar birleşiminin olduğu bölge yani mescit kubbesinin altında oluşmuştur (Şekil 23). Bu gerilmelerin hesaplanan emniyetli duvarlar taşıma gücünü 23.4 N/mm^2 'yi geçmediği görülmüştür. Bu sonuçlardan müzenin taş duvarlarının mevcut yükleri emniyetle taşıdığı anlaşılmıştır (Şekil 24).



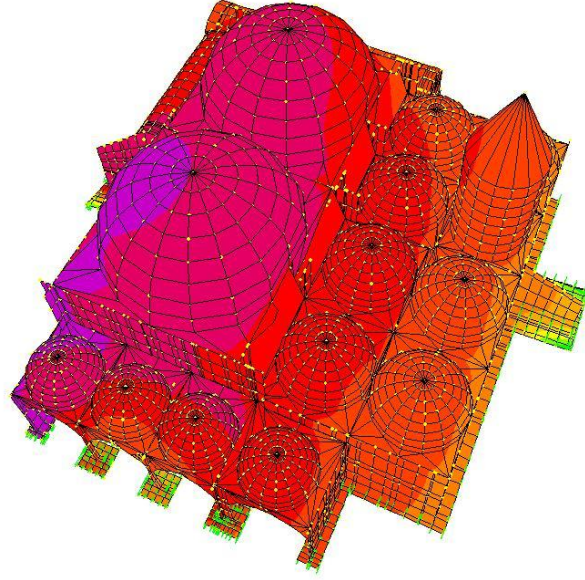
Şekil 23. Sol yan cephe dış duvar gerilmeleri (Mescit kubbesi altı-iç mekan) (Duvar altı gerilmesi = 6.44 N/mm^2)
(Figure 23. Exterior wall stresses at the left side facade (Under the mosque dome-indoor) (The stress under the wall is 6.44 N/mm^2)



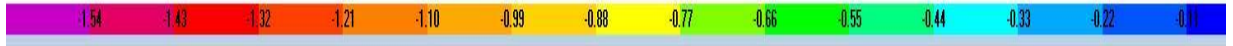
Şekil 24. Mevcut yükler altında müze genelinde oluşan gerilmeler
(Figure 24. The stresses for the whole museum under the existing
loading) ($10^{-1} \times \text{N/mm}^2$)

5.2. Temel oturumları ve gerilmelerinin karşılaştırılması (Comparison for the Stresses and Foundation Settlements)

Müzenin mevcut temel sistemi SAP2000 de modellenmiş ve çözülmüştür. Müzenin mevcut durumdaki yükler altında sol yan cepheye doğru bir oturma eğilimi görülmektedir. Bu farklı oturma eğiliminin sebebi buradaki duvar ve temel kesitleri müzenin diğer bölümleri ile aynı olmasına karşın büyük kubbe ve yüksek duvarları (yaklaşık 11.50 m) taşımasıdır (Şekil 25). SAP2000 analizi sonucunda temelde bulunan rölatif dönme ve oturumlar (cm) hesaplandı ve Excel Tablosu olarak aktarıldı. Excel'e aktarılan Uz deplasmanları (Oturumlar) m'ye çevrildi ve Yatak katsayısı olan 20000 kN/m^3 ile çarpılmak suretiyle temel gerilmeleri bulundu. Temel gerilmelerine bakıldığında zaman gerilmelerin 200 ile 300 kN/m^2 arasında değiştiği görülmüştür. Arazi ve laboratuvar sonuçlarından müze temelleri için zemin emniyetli taşıma gücü yaklaşık olarak 100 kN/m^2 olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan da anlaşılacağı üzere müze zemini mevcut temel gerilmelerini karşılayamamakta ve zeminde güçlendirme yapılması gerekmektedir.



ÖnCephe



Şekil 25. Temellerde oluşan oturmalar (cm)
(Figure 25. Foundation Settlements (cm))

6. TEMEL GÜÇLENDİRME SİSTEMİNİN BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF FOUNDATION STRENGTHENING SYSTEM)

Müzedeki yapılan incelemeden, SAP2000 çözümlemesinden ve zemin çalışmalarının değerlendirilmesinden müzede oluşan çatlakların ana sebebinin duvar altı ve sütunlar (ayaklar) altındaki temellerde meydana gelen oturmalarından kaynaklandığı belirlenmiştir [10]. Farklı yükleme durumunda temellerin farklı oturma yapacağı doğal olduğu gibi, aynı yükleme durumunda farklı zemin yapısına oturan temellerin farklı oturma yapacağı da doğaldır [11]. Değişik dönemlere ait inşaat tekniklerini ve bölümleri kapsayan Mevlana Müzesi sürekli olarak restorasyon işlemine tabi tutulmakta, temel iyileştirmesi yapılmadan, sadece üst yapıyı kapsayan iyileştirme çabaları yetersiz kalmaktadır. Kalıcı bir iyileştirme ve restorasyonun zemin iyileştirmesini de kapsamaması gerekmektedir.

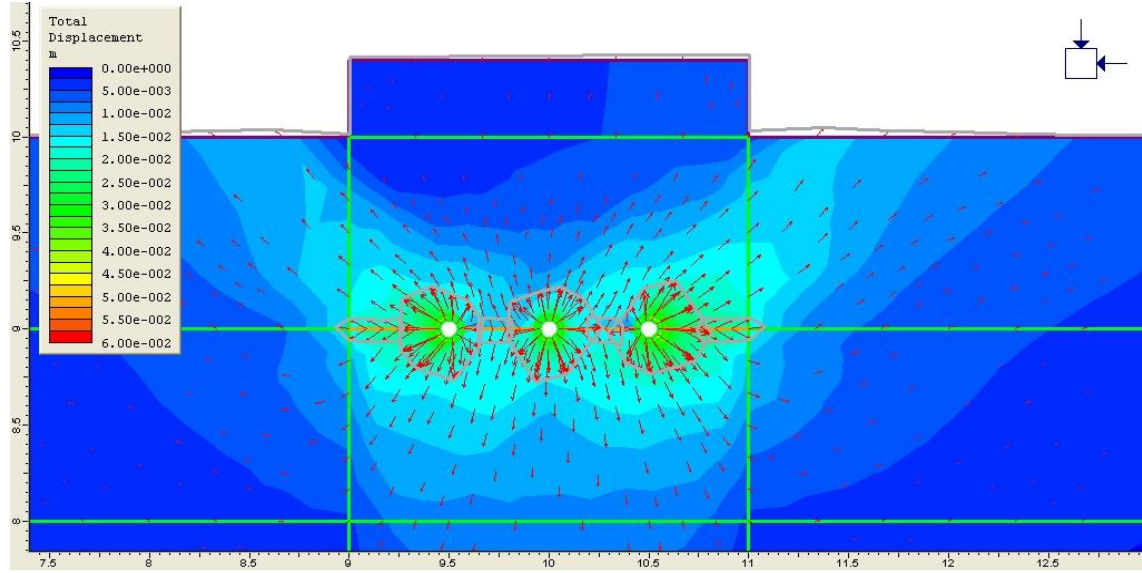
Zemin yapısı ve üst yapı beraber değerlendirildiğinde bu tür zeminler için jetgrout yöntemi vb. yöntemler ile temel altı zeminin iyileştirilmesi mümkün olacaktır. Benzer çalışmalar değişik araştırmacı ve uygulayıcılar tarafından yapılmıştır [12, 13, 14, 15]. Fakat müzenin özelliği gereği (içerisinde mezarların olması, sürekli ziyaretçi alması vb. sebeplerden dolayı) bu tür bir uygulama mümkün olmamaktadır.

Bu tür yerler ve zeminler için günümüzde zemin iyileştirmesinde yeni bir teknik olan Üretek yöntemi kullanılabilir. Bu teknikle müze fonksiyonuna devam ederken, temel altı zeminde iyileştirme yapılabilir [16].

Üretek Stabilizasyon ve kaldırma yöntemi Avrupa'da geliştirilmiş özgün ve patentli bir yöntemdir.. Üretek yöntemi ile yapılardaki, ağır makine ve teçhizatın, sabit ve hareketli eşyanın kaldırılıp yer

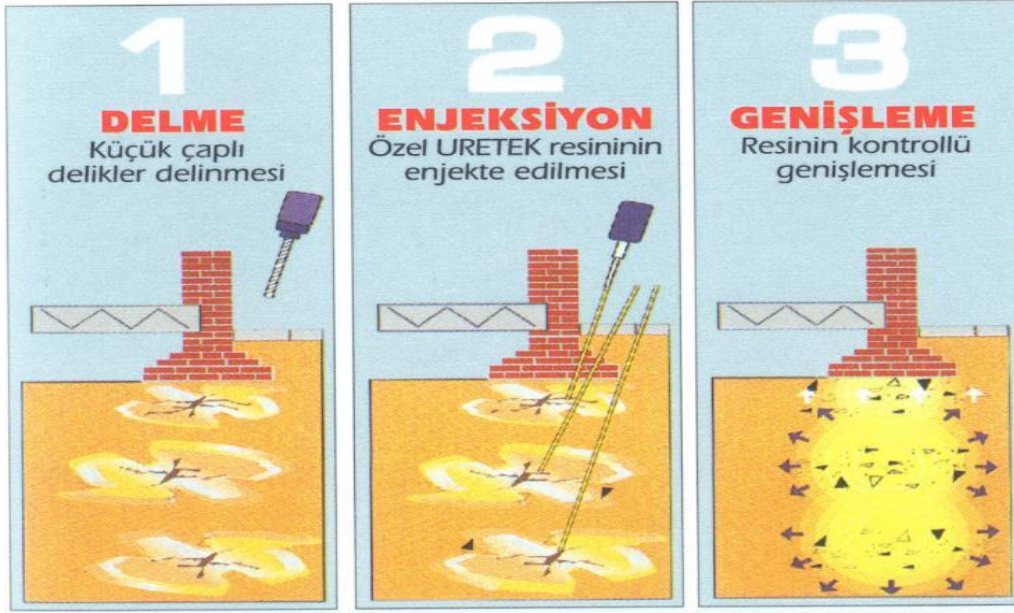
değiştirilmesine gerek duymadan güçlendirme yapılabilir. Mevlana Müzesi içinde bulunan mezar, sanduka ve yoğun ziyaretçi hareketi diğer zemin güçlendirme yöntemlerinin burada uygulanmasını mümkün kılmamaktadır.

Hızlı, temiz ve gürültüye neden olmayan Üretek kaldırma ve stabilizasyon teknolojisi, küçük çaplı bir delikten yapı temelini gönderilen yüksek yoğunluktaki Üretek hafif resinbetonu da denilen özel bir maddenin şişme ve genişleme potansiyeline dayanmaktadır (Şekil 26).



Şekil 26. Üretek resinin zemin içinde genişmesi
(Figure 26. Expansion of Üretek resin inside the soil)

10 000 kpa (1000 ton/m²) gücündeki Üretek resinini yapıyı stabilize etmek ve gerektiğinde kaldırmakla kalmamakta, aynı zamanda yapının temel izolasyonunu da sağlamaktadır. Her türlü koşulda dayanıklı ve hafif oluşu nedeniyle daha sonra oluşabilecek hasarları önlemektedir. Yığma bir yapı temelinde Üretek uygulama yöntemleri Şekil 26'daki gibidir.



Şekil 27. Yığılma bir yapı temellinin oturmasını önlemek ve oturan temelleri Üretek ile kaldırma yöntemi [16]

(Figure 27. Preventing the foundation settlement of a masonry structure and erecting the settled foundations using Üretek Method [16])

7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME (CONCLUSIONS AND DISCUSSION)

Bu çalışma ile Mevlana Müzesinde oluşan hasarlar ve nedenleri araştırılmış, alınacak önlemler belirlenmiştir. Bu amaçla müzede taşıyıcı olarak kullanılan yapı malzemelerinin fiziksel ve mukavemet özellikleri araştırılmıştır. Buradan bulunan değerler SAP2000 çözümünde kullanılmıştır.

Yapıtaşı olarak kullanılan gödene taşının su emme kapasitesinin ($0.106663 \text{ kg/m}^2\text{t}^{1/2}$) düşük olduğu, donma çözülmeye karşı dayanımının yeterli olduğu ve taşıma gücünün (93.592 N/mm^2) yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Genellikle yer ve duvar kaplaması olarak kullanılan Sille taşı ise su emme kapasitesinin yüksek ($4.036448 \text{ kg/m}^2\text{t}^{1/2}$), donma çözülmeye dayanımının yetersiz, mukavemetinin (68.806 N/mm^2) yeterli olduğu görülmüştür.

Kubbeye yapı malzemesi olarak kullanılan tuğlaların ise dayanımının (17.7 N/mm^2) yeterli olduğu görülmüştür. Zemin araştırmalarında müze zemini genel 0-3,0 m arasında yer yer dolgu zemin içerdiği, kumlu çakıllı siltli bir zemin olduğu ve zeminin farklı oturma yapabilecek bir yapıda olduğu görülmüştür.

Müze taşıyıcı sistemi SAP2000 ile modellenmiş, SAP2000 modelleme çözümleri ile fiziki durum karşılaştırılmış, bilhassa müzenin sol yan girişinde ana kubbeyi taşıyan duvarların daha fazla basınca maruz kaldığı ve buna bağlı olarak temellerde farklı oturmanın olduğu, bu oturmaya bağlı olarak kubbelerin bazı bölgelerinde çekme çatlaklarının olduğu görülmüş, bu durum SAP2000 model çalışması ile doğrulanmıştır.

Temel iyileştirme yöntemi olarak jet grout yöntemi uygun bir yöntem kabul edilmekle birlikte, müzenin özelliği gereği bu yöntemin uygulanması uygun görülmemiş, yeni bir yöntem olan ve müzenin fonksiyonu devam ederken uygulanabilen Üretek zemin ıslah yöntemi çözüm olarak önerilmiştir.

NOT (NOTICE)

Bu makale, 28-30 Eylül 2011 tarihleri arasında Elazığ Fırat Üniversitesinde "International Participated Construction Congress" IPCC11'de sözlü sunum olarak sunulmuştur.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Mahrabel, H.A., (2006). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Sistem Özellikleri, Hasarlar, Onarım ve Güçlendirme Teknikleri. Yüksek Lisans Tezi. İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul.
2. Sesigür, H., Çelik, O.C., ve Çıllı, F., (2007). Tarihi Yapılarda Taşıyıcı Bileşenler Hasar Biçimleri, Onarım ve Güçlendirme. İMO, İstanbul Bülten, Sayı:89, ss:10-21.
3. Kocadağıstan, M.A., (2009). Konya Mevlana Dergahı'nın Rölöve Çalışmaları, Tarihi Süreç İçerisinde Maruz Kaldığı Onarım, Tipoloji ve Restitüsyon Safhaları , *Mimarlar Dergisi*, ss:40-77.
4. TSE 699- Tabii Yapı Taşları Muayene ve Deney Methodları (TSE 1987), 1-45
5. TSE 4045-Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini (TSE 1984) , 1-4
6. TSE 2513 - Doğal Yapı Taşları, Türk Standartları Enstitüsü, 1977
7. TDY 2007, Duvarlarda Basınç Emniyet Gerilmesi (Bölüm 5.3.2) , 86-98
8. Grafir Zemin Raporu, (2008). Konya İli, Karatay İlçesi, 80 Pafta, 30 Ada ve 1 Nolu Parseldeki Mevlana Müzesine Ait Zemin Etüd Raporu.
9. Akan, A.E. ve Özen, Ö., (2005). Bursa Yeşil Türbe'nin Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Deprem Analizi. Deprem Sempozyumu. Kocaeli, ss:758-762.
10. Namli, M., (2001). Tarihi Yapıların Temel Sistemleri ve Temel Takviyesi Yöntemleri. Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü., İstanbul.
11. Özaydın, K., (1999). Zemin Mekaniği, İstanbul, 175 - 212
12. Durgunoğlu, H.T. ve Karadayılar, T., (1991). Konya Alaaddin Cami Temel ve Zemin İyileştirmesi Uygulaması Raporu. Konya.
13. Durgunoğlu, H.T. ve Diğerleri, (1998). Jet - Grout Yöntemi ile Zemin İyileştirmesi Üzerine, Bir Uygulama. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Yedinci Ulusal Kongresi*. YTÜ. İstanbul. ss:438-448.
14. Toğrol, E., Özkan, M.T., Ören, F. ve Özbatır, M. , (1996). Fethi Ahmet Paşa Yalısı, temel Takviyesi, *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği*. *Altıncı Ulusal Kongresi*, Dokuz Eylül Üniversitesi. İzmir. ss:426 - 432.
15. Toğrol, E., (1994). Küçüksu Kasrı, Hoca Ahmet Yesevi Türbesi Zemin İyileştirme Çalışmaları raporu.
16. Üretek Kataloğu, www.uretek.com.tr, Ankara